

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-356760

(43)Date of publication of application : 26.12.2000

(51)Int.Cl. G02F 1/09
H04B 10/02
H04B 10/18

(21)Application number : 11-167635

(71)Applicant : KDD CORP

(22)Date of filing : 15.06.1999

(72)Inventor : TANAKA HIDEAKI
USAMI MASASHI
TANAKA SHINSUKE

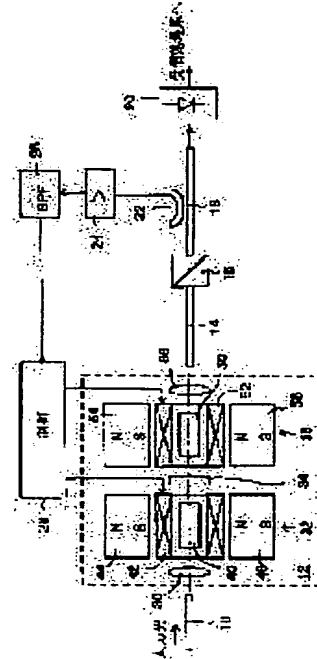
(54) POLARIZED WAVE MODE DISPERSION COMPENSATING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To compensate the polarized wave mode dispersion of an input signal light by adapting to the state of the polarization of the signal light.

SOLUTION: A signal light from an optical transmission line is inputted to as polarization converting device 12 by propagating an optical fiber 10. The device 12 converts the input light having an arbitrary polarized wave into linearly polarized waves having a prescribed angle by the quarter-wave plate between two Faraday rotators. The output light of the device 12 inputs to a polarizing beam splitter 16 by propagating through an optical fiber 14. The beam splitter 16 outputs one side (for example, a TE component) of two orthogonal polarized wave components (for example, TE and TM components) from the fiber 14 to an optical fiber 18. A part of the light propagating through the fiber 18 is branched by an optical coupler 22 to be made incident on a light receiving element 24. A band-pass filter(BPF) 26

extracts the clock component of the signal from the output of the element 24. A control circuit 28 controls the angle of the polarized wave of the output light by the device 12 so that output of the BPF 26 becomes the maximum according to the output of the filter 26.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.02.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-356760
(P2000-356760A)

(43) 公開日 平成12年12月26日 (2000. 12. 26)

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード (参考)

G 0 2 F 1/09

5 0 5

G 0 2 F 1/09

5 0 5

2 H 0 7 9

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

M 5 K 0 0 2

10/18

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平11-167635

(22) 出願日

平成11年6月15日 (1999. 6. 15)

(71) 出願人 000001214

ケイディディ株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72) 発明者 田中 英明

埼玉県上福岡市大原二丁目1番15号株式会
社ケイディディ研究所内

(72) 発明者 宇佐見 正士

埼玉県上福岡市大原二丁目1番15号株式会
社ケイディディ研究所内

(74) 代理人 100090284

弁理士 田中 常雄

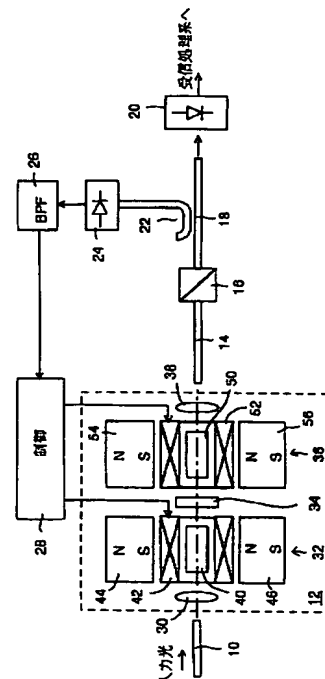
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏波モード分散補償装置

(57) 【要約】

【課題】 入力信号光の偏波状態に適応して、その偏波モード分散を補償する。

【解決手段】 光伝送路からの信号光は、光ファイバ10を伝搬して偏波変換装置12に入力する。偏波変換装置12は、2つのファラデー回転素子とその間の4/1波長板により、任意の偏波の入力光を所望の角度の直線偏波に変換する。偏波変換装置12の出力光は、光ファイバ14を伝搬して偏光ビームスプリッタ16に入力する。偏光ビームスプリッタ16は、光ファイバ14からの光を2つの直交する偏波成分 (例えば、TEとTM) の一方 (例えば、TE成分) を光ファイバ18に出力する。光ファイバ18を伝搬する光の一部は、光カップラ22により分波されて受光素子24に入射する。バンドパスフィルタ (BPF) 26は、受光素子24の出力から信号のクロック成分を抽出する。制御回路28は、BPF 26の出力に従い、BPF 26の出力が最大になるように偏波変換装置12による出力光の偏波角度を制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力信号光の偏波モード分散を補償する装置であって、

当該入力信号光の偏波を任意の角度の直線偏波に変換する偏波変換装置と、

当該偏波変換装置の出力光から、互いに直交する 2 成分のうちの少なくとも一方の偏波成分を抽出する偏波抽出手段と、

当該偏波抽出手段の出力光から所定成分信号を抽出する信号抽出手段と、

当該信号抽出手段の出力に従い、当該信号抽出手段の出力がより大きくなるように当該偏波変換装置を制御する制御手段とからなることを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 2】 当該信号抽出手段が、当該偏波抽出手段の一方の偏波の出力光を電気信号に変換する受光素子と、当該受光素子の出力から当該所定成分の信号を抽出し、当該制御手段に供給する信号抽出器とからなる請求項 1 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 3】 当該信号抽出器は、当該入力信号光のクロック成分強度を抽出する電気フィルタである請求項 2 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 4】 当該信号抽出器は、当該入力信号光の平均光強度を抽出する電気フィルタである請求項 2 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 5】 当該信号抽出手段が、当該偏波抽出手段の一方の偏波の出力光を電気信号に変換する第 1 の受光素子と、当該第 1 の受光素子の出力から当該所定成分の信号を抽出する第 1 の信号抽出器と、当該偏波抽出手段の他方の偏波の出力光を電気信号に変換する第 2 の受光素子と、当該第 2 の受光素子の出力から当該所定成分の信号を抽出する第 2 の信号抽出器と、当該第 1 及び第 2 の信号抽出器の出力を比較する比較手段と、当該比較手段の比較結果に従い、当該第 1 及び第 2 の信号抽出器の一方の出力を選択して当該制御手段に供給するスイッチとからなり、

更に、当該比較手段の当該比較結果に従い、当該偏波抽出手段の何れか一方の偏波で搬送される信号を選択する信号選択手段を具備する請求項 2 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 6】 当該第 1 及び第 2 の信号抽出器はそれぞれ、当該入力信号光のクロック成分強度を抽出する電気フィルタである請求項 5 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 7】 当該第 1 及び第 2 の信号抽出器はそれぞれ、当該入力信号光の平均光強度を抽出する電気フィルタである請求項 5 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 8】 当該信号選択手段が、当該偏波抽出手段の何れか一方の偏波の出力光を選択する光スイッチである請求項 5 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 9】 当該偏波変換装置が、ファラデー回転により当該入力信号光の偏波を回転する装置からなる請求項 1 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 10】 当該偏波変換装置が、ファラデー回転により当該入力信号光を偏波をポアンカレ球上の緯度線に沿って移動する第 1 の偏波変換器と、当該第 1 の偏波変換器の出力光を当該ポアンカレ球の赤道上に移動する波長板と、当該波長板の出力光の偏波を当該ポアンカレ球の赤道上に沿って移動する第 2 の偏波変換器とからなる請求項 9 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 11】 当該第 1 及び第 2 の偏波変換器はそれぞれ、ファラデー素子と、当該制御手段からの駆動電流に従った、当該ファラデー素子の光軸方向の磁界を当該ファラデー素子に印加する磁気発生手段と、当該ファラデー素子の光軸方向に直交する方向の、当該ファラデー素子を磁気飽和させる強さの定常的な磁界を当該ファラデー素子に印加する磁石とからなる請求項 10 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 12】 入力信号光の偏波モード分散を補償する装置であって、

当該入力信号光を 2 つに分割する光分波器と、

当該光分波器の一方の出力光の偏波を任意の角度の直線偏波に変換する第 1 の偏波変換装置、当該第 1 の偏波変換装置の出力光から所定偏波成分を抽出する第 1 の偏波抽出器、及び当該第 1 の偏波抽出器の出力光強度がより大きくなるように当該第 1 の偏波変換装置の偏波変換を制御する第 1 の制御手段を具備する第 1 の分散補償器と、

当該光分波器の他方の出力光の偏波を任意の角度の直線偏波に変換する第 2 の偏波変換装置、当該第 2 の偏波変換装置の出力光から所定偏波成分を抽出する第 2 の偏波抽出器、及び当該第 2 の偏波変換装置に対する制御信号を所定規制値範囲内に規制した状態で、当該第 2 の偏波抽出器の出力光強度がより大きくなるように当該第 2 の偏波変換装置の偏波変換を制御する第 2 の制御手段を具備する第 2 の分散補償器と、

当該第 1 及び第 2 の分散補償器の一方の出力を選択自在であり、当初は、当該第 1 の分散補償器の出力を選択する信号選択スイッチと、

当該第 1 及び第 2 制御手段による当該第 1 及び第 2 の偏波変換装置の制御状態を監視し、その監視結果に従い当該第 1 及び第 2 の制御手段並びに当該信号選択スイッチを制御するスイッチ制御手段であって、当該第 1 の制御手段の当該第 1 の波長変換装置に対する制御信号がその規制値を越えた場合に、当該信号選択スイッチに当該第 2 の分散補償器の出力を選択させると共に、当該第 2 の制御手段に、当該第 2 の偏波変換装置に対する制御信号の規制値とは無関係に、当該第 2 の偏波抽出器の出力光がより大きくなるように当該第 2 の偏波変換装置の偏波変換を制御させるスイッチ制御手段とを具備することを

特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項13】 当該スイッチ制御手段は、当該第2の制御手段に、当該第2の偏波変換装置に対する制御信号の規制値とは無関係に、当該第2の偏波抽出器の出力光がより大きくなるように当該第2の偏波変換装置の偏波変換を制御させるときに、当該第1の制御手段に、当該第1の偏波変換装置に対する制御信号を所定規制値範囲内に規制した状態で、当該第1の偏波抽出器の出力光がより大きくなるように当該第1の偏波変換装置の偏波変換を制御させる請求項12に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項14】 当該第1及び第2の制御手段はそれぞれ、当該第1及び第2の偏波抽出器により抽出された当該所定偏波成分から得られる所定成分信号が大きくなるように、当該第1及び第2の偏波変換装置の偏波変換を制御する請求項12に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項15】 当該所定成分信号は、当該入力信号光のクロック成分強度を示す信号である請求項14に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項16】 当該第1の制御手段が更に、当該第1の偏波抽出器から出力される2つの直交偏波成分の内の一方の偏波の出力光を電気信号に変換する第1の受光素子と、当該第1の受光素子の出力から当該所定成分信号を抽出する第1の信号抽出器と、当該第1の偏波抽出器から出力される他方の偏波の出力光を電気信号に変換する第2の受光素子と、当該第2の受光素子の出力から当該所定成分信号を抽出する第2の信号抽出器と、当該第1及び第2の信号抽出器の出力を比較する第1の比較手段と、当該第1の比較手段の比較結果に従い、当該第1及び第2の信号抽出器の一方の出力を選択する第1の選
30 択器を具備し、当該第1の選択器の出力が大きくなるように当該第1の偏波変換装置の偏波変換を制御し、当該第2の制御手段が更に、当該第2の偏波抽出器から出力される2つの直交偏波成分の内の一方の偏波の出力光を電気信号に変換する第3の受光素子と、当該第3の受光素子の出力から当該所定成分信号を抽出する第3の信号抽出器と、当該第2の偏波抽出器から出力される他方の偏波の出力光を電気信号に変換する第4の受光素子と、当該第4の受光素子の出力から当該所定成分信号を抽出する第4の信号抽出器と、当該第3及び第4の信号
40 抽出器の出力を比較する第2の比較手段と、当該第2の比較手段の比較結果に従い、当該第3及び第4の信号抽出器の一方の出力を選択する第2の選択器を具備し、当該第2の選択器の出力が大きくなるように当該第2の偏波変換装置の偏波変換を制御し、当該第1の分散補償器が更に、当該第1の比較手段の当
50 該比較結果に従い、当該第1の偏波抽出器の何れか一方の偏波で搬送される信号を選択する第1の信号選択器を具備し、

当該第2の分散補償器が更に、当該第2の比較手段の当

該比較結果に従い、当該第2の偏波抽出器の何れか一方の偏波で搬送される信号を選択する第2の信号選択器を具備する請求項14に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項17】 当該第1及び第2の偏波変換装置が、ファラデー回転により入力光の偏波を回転する装置からなる請求項12に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項18】 当該第1及び第2の偏波変換装置がそれぞれ、ファラデー回転により当該入力信号光を偏波をポアンカレ球上の緯度線に沿って移動する第1の偏波変換器と、当該第1の偏波変換器の出力光を当該ポアンカレ球の赤道上に移動する波長板と、当該波長板の出力光の偏波を当該ポアンカレ球の赤道に沿って移動する第2の偏波変換器とからなる請求項17に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項19】 当該第1及び第2の偏波変換器はそれぞれ、ファラデー素子と、当該制御手段からの駆動電流に従った、当該ファラデー素子の光軸方向の磁界を当該ファラデー素子に印加する磁気発生手段と、当該ファラデー素子の光軸方向に直交する方向の、当該ファラデー素子を磁気飽和させる強さの定常的な磁界を当該ファラデー素子に印加する磁石とからなる請求項18に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項20】 当該第1の信号選択器が、当該第1の偏波抽出器の何れか一方の偏波の出力光を選択する光スイッチであり、当該第2の信号選択器が、当該第2の偏波抽出器の何れか一方の偏波の出力光を選択する光スイッチである請求項16に記載の偏波モード分散補償装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、偏波モード分散補償装置に関し、より具体的には、光伝送路で信号光に生じ得る偏波モード分散を補償する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】インターネットの普及とともに伝送容量の需要は止まることを知らずに拡大をしている。大容量の伝送には光ファイバ通信が適している。波長の異なる信号光を1本の光ファイバで伝送する波長多重伝送方式を採用し、波長数を増やし、各波長の信号光の変調速度を上げることで、比較的容易に伝送容量を増すことができる。受信感度を向上するためと、波長多重伝送を行なったときに相互位相変調を低減するために、信号光にリターン・ツー・ゼロ(RZ)が用いるのが主流になってきている。

【0003】光ファイバは、理想的には、コアの中心軸(ファイバの中心軸)に対して回転対称であるが、製造工程の揺らぎから生じるわずかな非対称性により、信号光の波長分散量が、コアの中心軸を中心とする角度方向で異なる。これがいわゆる、偏波モード分散をもたらす。信号光の変調速度が5 G b i t /秒を超すと、偏波

モード分散により、図8に示すように、RZ信号が時間軸上で2つの直交する偏波成分（いわゆるTE成分とTM成分）に分離する。これは、受信側の受信処理で符号誤りを生じさせる。分離された直交成分の時間間隔は、光伝送路の状態に依存するが、一般的に時間的に無秩序に変動する。

【0004】この種の偏波モード分散を補償する手段が例えば、Fabian Roy他によるOFC'99 IOOC (OFC (Optical Fiber Communication) and the International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communicationz (IOOC)、TuS4-1, pp. 275-278と、Hiroki Ooi他によるOFC'99 IOOC (OFC (Optical Fiber Communication) and the International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communicationz (IOOC) WE5-1)に記載されている。

【0005】従来の偏波モード分散補償装置は、基本的に、光伝送路からの信号光を2つの直交する偏波に変換する偏波制御器と、その出力光に対して、直交する2方向の偏波成分間で一定の時間差を与える偏波モード分散補償素子と、偏波保持ファイバの出力光の強度又は偏光度Degree of Polarization (DOP)を計測し、計測結果が最大になるように偏波制御器による偏波制御量又は回転角を制御する測定器からなる。前者の文献では、DOPを計測する。後者の文献では、40 Gbits/sのNRZ信号光に対しその半分の周波数20 GHzのクロック成分を計測する。

【0006】偏波制御器は、1/4波長板と1/2波長板をシリアルに配置した構造からなり、測定器が、測定結果に従い、光軸を中心として両波長板を機械的に回転させる。これにより、入射光の偏波が、直線偏波に変換される。偏波分散補償素子には一般的に、偏波保持ファイバが使用される。偏波保持ファイバは互いに直交するスロー軸とファースト軸を有し、その2つの軸間で波長分散が異なる。この結果、2つの軸間で信号光の伝搬速度が異なることになるので、偏波保持ファイバは、その軸間の伝搬速度差と長さに応じた量の偏波モード分散を与えることができる。従来例では、偏波保持ファイバの出力光の光強度又はDOPが最大になるように、偏波制御器をフィードバック制御する。これにより、光伝送路で与えられた直交方向成分間の時間差を偏波保持ファイバで解消し、偏波モード分散を補償できる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】通常の長距離光ファイバ伝送路では、信号光の偏波は、最低でも数10 m秒で

変化する。ところが、従来の偏波モード分散補償装置は、機械式の偏波制御器の応答が秒単位であることもあって、速い偏波の変化に追従できない。

【0008】また、従来例では、機械式の偏波制御器を使用するので、長期に亘って使用するのが難しい。換言すると、信頼性が低い。

【0009】更に、従来の装置では、偏波モード分散補償量が一定である偏波保持ファイバを使用するので、例えば、少しの偏波モード分散しか持たない信号光が入力した場合、逆に偏波モード分散を与えてしまう。これは、符号誤りを増大させる。

【0010】本発明は、入力信号光の偏波状態に適応して、その偏波モード分散を補償する偏波モード分散補償装置を提示することを目的とする。

【0011】本発明は、より広い範囲の偏波モード分散を補償できる偏波モード分散補償装置を提示することを目的とする。

【0012】本発明はまた、このような不都合を解消し、より迅速に応答できる偏波モード分散補償装置を提示することを目的とする。

【0013】本発明はまた、入力信号光の偏波状態に自動適応して偏波モード分散を補償できる偏波モード分散補償装置を提示することを目的とする。

【0014】本発明は更に、長期にわたって高い信頼性を保持できる偏波モード分散補償装置を提示することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明に係る偏波モード分散補償装置は、入力信号光の偏波モード分散を補償する装置であって、当該入力信号光の偏波を任意の角度の直線偏波に変換する偏波変換装置と、当該偏波変換装置の出力光から、互いに直交する2成分のうちの少なくとも一方の偏波成分を抽出する偏波抽出手段と、当該偏波抽出手段の出力光から所定成分信号を抽出する信号抽出手段と、当該信号抽出手段の出力に従い、当該信号抽出手段の出力がより大きくなるように当該偏波変換装置を制御する制御手段とからなることを特徴とする。

【0016】この構成により、本発明では、入力信号光の偏波状態に自動適応して、入力信号光の偏波モード分散を補償できる。

【0017】信号抽出手段は、好ましくは、当該偏波抽出手段の一方の偏波の出力光を電気信号に変換する受光素子と、当該受光素子の出力から当該所定成分の信号を抽出し、当該制御手段に供給する信号抽出器とからなる。信号抽出器は、当該入力信号光のクロック成分強度を抽出する電気フィルタ、又は、当該入力信号光の平均光強度を抽出する電気フィルタである。これにより、簡単な構成で、入力信号光の偏波モード分散を補償できる。

【0018】信号抽出手段は好ましくは、当該偏波抽出

手段の一方の偏波の出力光を電気信号に変換する第1の受光素子と、当該第1の受光素子の出力から当該所定成分の信号を抽出する第1の信号抽出器と、当該偏波抽出手段の他方の偏波の出力光を電気信号に変換する第2の受光素子と、当該第2の受光素子の出力から当該所定成分の信号を抽出する第2の信号抽出器と、当該第1及び第2の信号抽出器の出力を比較する比較手段と、当該比較手段の比較結果に従い、当該第1及び第2の信号抽出器の一方の出力を選択して当該制御手段に供給するスイッチとからなる。本補償装置は更に、当該比較手段の当該比較結果に従い、当該偏波抽出手段の何れか一方の偏波で搬送される信号を選択する信号選択手段を具備する。当該第1及び第2の信号抽出器はそれぞれ、当該入力信号光のクロック成分強度を抽出する電気フィルタ、又は、当該入力信号光の平均光強度を抽出する電気フィルタである。これにより、主軸の変換が発生しても、支障なく継続的に、入力信号光の偏波モード分散を補償できる。

【0019】偏波変換装置が、ファラデー回転により当該入力信号光の偏波を回転する装置からなる。偏波変換装置は好ましくは、ファラデー回転により当該入力信号光を偏波をポアンカレ球上の緯度線に沿って移動する第1の偏波変換器と、当該第1の偏波変換器の出力光を当該ポアンカレ球の赤道上に移動する波長板と、当該波長板の出力光の偏波を当該ポアンカレ球の赤道上に沿って移動する第2の偏波変換器とからなる。当該第1及び第2の偏波変換器はそれぞれ、ファラデー素子と、当該制御手段からの駆動電流に従った、当該ファラデー素子の光軸方向の磁界を当該ファラデー素子に印加する磁気発生手段と、当該ファラデー素子の光軸方向に直交する方向の、当該ファラデー素子を磁気飽和させる強さの定常的な磁界を当該ファラデー素子に印加する磁石とからなる。これにより、可動部材無しで偏波を変換できるので、長期にわたる高い信頼性を確保できる。また、高速の応答が可能になる。

【0020】本発明に係る偏波モード分散補償装置はまた、入力信号光の偏波モード分散を補償する装置であって、当該入力信号光を2つに分割する光分波器と、当該光分波器の一方の出力光の偏波を任意の角度の直線偏波に変換する第1の偏波変換装置、当該第1の偏波変換装置の出力光から所定偏波成分を抽出する第1の偏波抽出器、及び当該第1の偏波抽出器の出力光強度がより大きくなるように当該第1の偏波変換装置の偏波変換を制御する第1の制御手段を具備する第1の分散補償器と、当該光分波器の他方の出力光の偏波を任意の角度の直線偏波に変換する第2の偏波変換装置、当該第2の偏波変換装置の出力光から所定偏波成分を抽出する第2の偏波抽出器、及び当該第2の偏波変換装置に対する制御信号を所定規制値範囲内に規制した状態で、当該第2の偏波抽出器の出力光強度がより大きくなるように当該第2の偏

波変換装置の偏波変換を制御する第2の制御手段を具備する第2の分散補償器と、当該第1及び第2の分散補償器の一方の出力を選択自在であり、当初は、当該第1の分散補償器の出力を選択する信号選択スイッチと、当該第1及び第2制御手段による当該第1及び第2の偏波変換装置の制御状態を監視し、その監視結果に従い当該第1及び第2の制御手段並びに当該信号選択スイッチを制御するスイッチ制御手段であって、当該第1の制御手段の当該第1の波長変換装置に対する制御信号がその規制値を越えた場合に、当該信号選択スイッチに当該第2の分散補償器の出力を選択させると共に、当該第2の制御手段に、当該第2の偏波変換装置に対する制御信号の規制値とは無関係に、当該第2の偏波抽出器の出力光がより大きくなるように当該第2の偏波変換装置の偏波変換を制御させるスイッチ制御手段とを具備することを特徴とする。

【0021】この構成により、入力信号光の偏波状態に適応して、その偏波モード分散を補償できる。また、ポアンカレ球を1周以上回るほどに光伝送路の偏波が変化した場合等に、即座に第2の分散補償器に切り換えることで、偏波変換器に過大な制御信号を供給し続けること、及び、過大な制御信号での分散補償状態に依存することを防止できる。これにより、高い信頼性を確保できる。

【0022】好ましくは、スイッチ制御手段は、当該第2の制御手段に、当該第2の偏波変換装置に対する制御信号の規制値とは無関係に、当該第2の偏波抽出器の出力光がより大きくなるように当該第2の偏波変換装置の偏波変換を制御させるときに、当該第1の制御手段に、当該第1の偏波変換装置に対する制御信号を所定規制値範囲内に規制した状態で、当該第1の偏波抽出器の出力光がより大きくなるように当該第1の偏波変換装置の偏波変換を制御させる。これにより、第2の分散補償器に過剰な制御信号が供給されるようになったときには、即座に、再び第1の分散補償器に切り替えることが可能になり、継続的に且つ長期に、安定した分散補償を得られる。

【0023】第1及び第2の制御手段はそれぞれ、当該第1及び第2の偏波抽出器により抽出された当該所定偏波成分から得られる所定成分信号が大きくなるように、当該第1及び第2の偏波変換装置の偏波変換を制御する。当該所定成分信号は例えば、当該入力信号光のクロック成分強度を示す信号である。

【0024】好ましくは、第1の制御手段が更に、当該第1の偏波抽出器から出力される2つの直交偏波成分の内の一方の偏波の出力光を電気信号に変換する第1の受光素子と、当該第1の受光素子の出力から当該所定成分信号を抽出する第1の信号抽出器と、当該第1の偏波抽出器から出力される他方の偏波の出力光を電気信号に変換する第2の受光素子と、当該第2の受光素子の出力か

ら当該所定成分信号を抽出する第2の信号抽出器と、当該第1及び第2の信号抽出器の出力を比較する第1の比較手段と、当該第1の比較手段の比較結果に従い、当該第1及び第2の信号抽出器の一方の出力を選択する第1の選択器を具備し、当該第1の選択器の出力が大きくなるように当該第1の偏波変換装置の偏波変換を制御する。当該第2の制御手段が更に、当該第2の偏波抽出器から出力される2つの直交偏波成分の内一方の偏波の出力光を電気信号に変換する第3の受光素子と、当該第3の受光素子の出力から当該所定成分信号を抽出する第3の信号抽出器と、当該第2の偏波抽出器から出力される他方の偏波の出力光を電気信号に変換する第4の受光素子と、当該第4の受光素子の出力から当該所定成分信号を抽出する第4の信号抽出器と、当該第3及び第4の信号抽出器の出力を比較する第2の比較手段と、当該第2の比較手段の比較結果に従い、当該第3及び第4の信号抽出器の一方の出力を選択する第2の選択器を具備し、当該第2の選択器の出力が大きくなるように当該第2の偏波変換装置の偏波変換を制御する。そして、当該第1の分散補償器が更に、当該第1の比較手段の当該比較結果に従い、当該第1の偏波抽出器の何れか一方の偏波で搬送される信号を選択する第1の信号選択器を具備し、当該第2の分散補償器が更に、当該第2の比較手段の当該比較結果に従い、当該第2の偏波抽出器の何れか一方の偏波で搬送される信号を選択する第2の信号選択器を具備するこれにより、主軸の交換が生じて、それに応じて支障なく偏波モード分散を補償し続けることができる。

【0025】好ましくは、第1及び第2の偏波変換装置が、ファラデー回転により入力光の偏波を回転する装置からなる。より具体的には、当該第1及び第2の偏波変換装置がそれぞれ、ファラデー回転により当該入力信号光を偏波をポアンカレ球上の緯度線に沿って移動する第1の偏波変換器と、当該第1の偏波変換器の出力光を当該ポアンカレ球の赤道上に移動する波長板と、当該波長板の出力光の偏波を当該ポアンカレ球の赤道に沿って移動する第2の偏波変換器とからなる。第1及び第2の偏波変換器はそれぞれ、ファラデー素子と、当該制御手段からの駆動電流に従った、当該ファラデー素子の光軸方向の磁界を当該ファラデー素子に印加する磁気発生手段と、当該ファラデー素子の光軸方向に直交する方向の、当該ファラデー素子を磁気飽和させる強さの定常的な磁界を当該ファラデー素子に印加する磁石とからなる。これにより、可動部材無しで偏波を変換できるので、長期にわたる高い信頼性を確保できる。また、高速の応答が可能になる。

【0026】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0027】図1は、本発明の第1実施例の概略構成

ロック図を示す。図1に示す実施例の構成と動作を説明する。光伝送路からの信号光は、光ファイバ10に入力し、光ファイバ10を伝搬して偏波変換装置12に入力する。偏波変換装置12は、任意の偏波の入力光を所望の角度の直線偏波に変換する装置であり、具体的には、特開平9-61772号公報の図4（又は米国特許第5,739,943号の図15）に記載される構成からなり、同公報の記載内容は、本明細書中に取り入れられる。偏波変換装置12の詳細な構成と動作は後述する。

【0028】偏波変換装置12により直線偏波に変換された信号光は、光ファイバ14を伝搬して偏光ビームスプリッタ16に入力する。偏光ビームスプリッタ16は、光ファイバ14からの光を2つの直交する偏波成分（例えば、TEとTM）に分波し、一方（例えば、TE成分）を光ファイバ18に出力する。本実施例では、偏光ビームスプリッタ16は、特定方向の偏光成分を抽出する偏光子として機能する。

【0029】光ファイバ18を伝搬する光のほとんどは、信号受信用の受光素子20に入射するが、その残りは、光カップラ22により分波されて受光素子24に入射する。バンドパスフィルタ（BPF）26は、受光素子24の出力から信号のクロック成分を抽出する。例えば、光伝送路から入力する信号光が10Gb/sで変調されている場合、BPF26の通過中心周波数は10GHzとなる。BPF26の出力は、いわば信号光の信号スペクトル成分強度を反映する。制御回路28は、BPF26の出力に従い、BPF26の出力が最大になるように偏波変換装置12による出力光の偏波角度を制御する。

【0030】これにより、偏波変換装置12は、光ファイバ18上で信号光（TE波）の振幅が最大になるような角度の直線偏波に、光伝送路からの信号光の偏波を変換する。すなわち、受光素子20には、偏波モード分散が解消された信号光が入射する。この結果、光伝送路上での偏波モード分散が完全に解消される。しかも、光伝送路上での偏波モード分散の変動にも充分な速度で追従できるので、符号誤りを低減でき、受信性能を大幅に高めることができる。

【0031】制御回路28による偏波変換装置12の制御方法としては、最大値を探索する種々の方法を利用できる。例えば、第1の方法では、偏波変換装置12に対する制御値を僅かに変動させて、偏波変換装置12の出力光の偏波角度を変動させ、その前後におけるBPF26の出力の比較からBPF26の出力がより大きい方の制御値を採用し、以後、その制御動作を逐次的に実行する。第2の方法では、第1の方法に準じた何からの初期的な動作の結果、BPF26の出力が大きくなる方向を決定した後では、BPF26の出力が減少に転ずるまでその方向に制御値を逐次的に変化させる。更には、制御可能範囲内で大まかに区分した各点の制御値に対するB

P F 2 6 の出力を一括して取り込み、その結果から、B P F 2 6 の出力が最大になる範囲を逐次的に探索する方法でもよい。これらの方法は適宜に組合せ可能である。

【0032】受光素子 20 と受光素子 24 が同じ光電変換性能で良ければ、受光素子 20 の出力を B P F 2 6 にも印加するようにすればよい。その場合には、光カップラ 22 と受光素子 24 を省略できる。

【0033】偏波変換装置 12 の構成と動作を簡単に説明する。図 2 は、偏波変換装置 12 の斜視図を示す。光ファイバ 10 の出射光は、コリメータレンズ 30 により平行ビームにされ、第 1 の偏波変換器 32 に入射する。第 1 の偏波変換器 32 は、入射光の偏波を、任意の状態から同じ緯線上で移動させる。第 1 の偏波変換器 32 の出力光は、1/4 波長板 34 を透過して、第 2 の偏波変換器 36 に入射する。1/4 波長板 34 は、ポアンカレ球上で垂直直線偏波を示す点と水平直線偏波を示す点とを結ぶ線を中心に 90° 回転することにより、偏波を赤道線上に移動させる。第 2 の偏波変換器 36 は、赤道上で偏波を所望の角度に変換できる。第 2 の偏波変換器 36 の出力光は、集光レンズ 38 により集光されて光ファイバ 14 に入射される。

【0034】偏波変換器 32 は、次のような構成からなる。光軸上にはファラデー回転子 40 が配置されている。ファラデー回転子 40 は、ファラデー効果を示すガーネット膜からなる。ファラデー回転子 40 の周囲には、ファラデー回転子 40 に対し光軸方向に磁界を印加するようにコイル 42 が配置されている。コイル 42 に流す電流を調節することで、光軸方向の印加磁界の強度を調節できる。コイル 42 の更に外側には、ファラデー回転子 40 に対し光軸に直交した方向の一定の磁界を印加するように、磁石 44、46 が配置されている。磁石 44、46 がファラデー回転子 40 を印加する磁界は、ファラデー回転子 40 を磁気飽和させる程に強く設定されている。

【0035】偏波変換器 36 は、偏波変換器 32 と同じ構成からなる。すなわち、偏波変換器 36 は、光軸上に配置されるファラデー回転子 50、ファラデー回転子 50 の周囲に配置され、ファラデー回転子 50 に対し光軸方向に磁界を印加するコイル 52、コイル 52 の外側に配置され、ファラデー回転子 50 に対し光軸に直交した方向の定常的な磁界を印加する磁石 54、56 からなる。

【0036】詳細は上述の公報に記載されているが、偏波変換器 32、36 では、コイル 42、52 に印加する電流を +1 から -1 の範囲で変化させる調節することで、ファラデー回転子 40、50 に印加される合成磁界の方向をプラスからマイナスに変化させることができる。これにより、偏波変換器 32、36 はそれぞれ、ポアンカレ球上で緯線方向に偏波を変更することができる。

【0037】理論的には、偏波変換器 32 は、回転偏波、直線偏波及び楕円偏波の何れかである任意の偏波の入射光を、垂直方向及び水平方向に軸を有する楕円偏波に変換する。波長板 34 が、偏波変換器 32 の出力光の楕円偏波を直線偏波に変換する。そして、偏波変換器 36 が、波長板 34 により得られた直線偏波を、所望の角度の直線偏波に変換する。

【0038】図 3 は、ポアンカレ球上での、偏波変換装置 12 による偏波変換の様子を示す模式図である。60 は北極、62 は南極、63 は垂直方向の直線偏波、64 は子午線、65 は水平方向の直線偏波、66 は赤道をそれぞれ示す。偏波変換装置 12 の入射光（光ファイバ 10 の出射光）の偏波が、符号 68 で示す位置にあるとする。第 1 の偏波変換器 32 は、入射光の偏波（図 3 の 68）を同じ緯線上で、指定の角度だけ回転移動させる。ここでは、便宜上、第 1 の偏波変換器 32 は、偏波を子午線 64 の位置 70 に移動させたとする。1/4 波長板 34 は、位置 70 の偏波を垂直偏波の点 63 と水平偏波の点 65 を結ぶ線を中心に 90° 回転させ、赤道 66 上の位置 72 に移動させる。そして、第 2 の偏波変換器 36 は、赤道 66 上の位置 72 の偏波を、赤道 66 上で所望の角度だけ移動させることができ、例えば、位置 74 に移動させる。すなわち、偏波は、位置 68 から、位置 70、72 を経て位置 72 に移動する。このようにして、本実施例の偏波変換装置 12 は、所望の偏波状態の光を、任意の角度の直線偏波に変換することができる。

【0039】ファラデー回転子 40、50 とコイル 42、52 からなる電磁石による偏波変換の応答速度は 100 kHz 程度であるので、10 ミリ秒より速い偏波状態の変化にも十分に追いつくことができる。

【0040】上記実施例では、偏波変換装置 12 の出力光の直線偏波のうち、所定軸方向成分のみを検出し、それが最大になるように偏波変換装置 12 を制御したが、偏波返還装置 12 の出力光の直線偏波のうちの、所定方向成分とこれに直交する方向成分の両方の光強度（又はクロック成分の振幅）を検出し、両者を比較して、所定方向成分がこれに直交する方向成分よりも常に強くなるように、偏波変換装置 12 を制御しても良い。

【0041】上記実施例では、B P F 2 6 は、信号のクロック成分を抽出したが、直流より高い周波数から、クロック成分の周波数を越すクロック成分近傍の周波数までのデータ成分を抽出するようにしても良い。但し、雑音が多くなり、不安定になりやすい。例えば、B P F 2 6 の通過中心周波数を 5 GHz としてもよい。

【0042】本実施例では、可動部無しで構成できるので、長期にわたり高い信頼性を確保できる。また、応答が早いので、光伝送路での伝送状態の変動にも十分に追従でき、実用上、高い効果が得られ、受信特性を大幅に改善できる。

【0043】偏波変換装置 12 は、ポアンカレ球上の任

意の偏波状態を任意の偏波状態に変換できる。しかし、ファラデー回転子40、50に流すことのできる電流は有限である。従って、偏波の回転量も有限となり、ポアンカレ球上を何周も回るような状態の伝送系に対して用いると、コイル42、52に流す電流が増加して、制限値を越えてしまうことにもなりかねない。コイル42、52に流す電流が制限値を越えると、偏波変換ができなくなり、偏波モード分散を補償できなくなる。

【0044】図4は、ポアンカレ球上を何周も回るように偏波が変動するような光伝送系にも適用可能な本発明の第2実施例の概略構成ブロック図を示す。

【0045】図4に示す実施例の構成と動作を説明する。光伝送路からの信号光は、入力ポート110から3dB光カップラ112に入力し、ここで2系統に分割される。3dB光カップラ112で分割された2つの信号光は、それぞれ、光ファイバ114a、114bを伝送して偏波変換装置116a、116bに入射する。偏波変換装置116a、116bは偏波変換装置12と全く同じ構成からなり、入射光の偏波を所望の角度の直線偏波に変換する。

【0046】偏波変換装置116a、116bにより直線偏波に変換された信号光は、光ファイバ118a、118bを伝搬して偏光ビームスプリッタ120a、120bに入力する。偏光ビームスプリッタ120a、120bは、光ファイバ118a、118bからの光を2つの直交する偏波成分（例えば、TEとTM）に分波し、一方（例えば、TE成分）を光ファイバ122a、122bに出力する。本実施例でも、偏光ビームスプリッタ120a、120bは、特定方向の偏光成分を抽出する偏光子として機能する。

【0047】光ファイバ122a、122bを伝搬する光のほとんどは、それぞれ光スイッチ124の2つの入力ポートに入力する。光スイッチ124は、2つの入力ポートの一方の入力光を選択し、信号受信用の受光素子126に供給する。受光素子126は入力光を電気信号に変換し、図示しない受信処理系に供給する。

【0048】光ファイバ122a、122bを伝搬する光の残りは、光カップラ128a、128bにより分波されて受光素子130a、130bに入射する。BPF132a、132bは、BPF26と同様に、受光素子130a、130bの出力から信号のクロック成分を抽出する。制御回路134a、134bはそれぞれ、BPF132a、132bの出力に従い、BPF132a、132bの出力が最大になるように偏波変換装置116a、116bによる出力光の偏波角度を制御する。

【0049】本実施例は、偏波変換装置116a、受光素子130a、BPF132a及び制御回路134aからなる偏波モード分散補償系、偏波変換装置116b、受光素子130b、BPF132b及び制御回路134bからなる偏波モード分散補償系という2つの補償系を

具備する。その2つの補償系は互いに独立に図1に示す実施例と同様に動作して、入力光の偏波モード分散を補償する。光スイッチ124が、2つの系統の偏波モード分散補償結果の一方を選択して、受光素子126に供給する。

【0050】光スイッチ124は偏波依存性を有しない素子からなるのが好ましい。例えば、光スイッチ124は、ニオブ酸リチウム導波路からなる方向性結合器の中間に1/2波長板を挿入した構造からなる。

【0051】制御回路134a、134bは、BPF132a、132bの出力に応じた偏波変換装置116a、116bの駆動電流の制御よりも、偏波変換装置116a、116bの駆動電流がポアンカレ球上で1周以上しないような駆動電流の規制を優先する動作モード（規制優先モード）と、駆動電流の規制よりも、BPF132a、132bの出力に応じた偏波変換装置116a、116bの駆動電流の制御を優先する動作モード（追従優先モード）を具備する。規制優先モードでは、制御回路134a、134bは、偏波変換装置116a、116bへの駆動電流が規制値を越えると、その駆動電流を0（又は、規制値範囲内の電流であって、ポアンカレ球上の同じ位相位置に対応する電流）から再スタートして、BPF132a、132bの出力が大きくなる方向に偏波変換装置116a、116bの駆動電流を制御する。他方、追従優先モードでは、制御回路134a、134bは、偏波変換装置116a、116bへの駆動電流が規制値を越えても、そのままBPF132a、132bの出力が大きくなる方向に偏波変換装置116a、116bの駆動電流を制御し続けると共に、スイッチ制御回路136に駆動電流が規制値を越えた旨を通知する。

【0052】スイッチ制御回路136は、制御回路134a、134bの動作モードを制御すると共に、光スイッチ124の切り替えを制御する。具体的には、スイッチ制御回路136は初期設定として、一方の制御回路134a（又は134b）を追従優先モードで動作させ、他方の制御回路134b（又は134a）を規制優先モードで動作させると共に、光スイッチ124に対しては、光ファイバ122a（又は122b）からの入力光を選択させる。制御回路134a（又は同134b）は、偏波変換装置116a（又は116b）の駆動電流を、その規制値に関わらずBPF132a（又は132b）の出力が大きくなるように制御し、制御回路134b（又は同134a）は、偏波変換装置116b（又は116a）の駆動電流をBPF132b（又は132a）の出力が大きくなるように制御しつつも、駆動電流がその規制値を越えない範囲に規制する。光スイッチ124が光ファイバ122aからの入力光を選択するので、偏波変換装置116a（又は116b）で偏波モード分散を補償された信号光が、受光素子126に入射す

る。

【0053】スイッチ制御回路136は、制御回路134a（又は134b）から駆動電流が規制値を越えた旨を示す信号を受け取ると、光スイッチ124に光ファイバ122b（又は122a）からの入力光を選択させると共に、制御回路134b（又は134a）を追従優先モードで動作させ、制御回路134a（又は134b）を初期化（例えば、出力する駆動電流を0にリセット）した上で規制優先モードで動作させる。

【0054】このように、本実施例では、駆動電流を規制値内に規制することを優先して入力信号光の偏波モード分散を補償する予備系統を用意しているため、現用の系統で駆動電流が規制値を超えてしまっても、即座に予備系統に切り換えて、偏波モード分散を補償された信号光を支障なく受光素子126に供給し続けることができる。これにより、補償系統の切り替えによるロスも無しに、符号誤りを低減でき、受信性能を大幅に高めることができる。偏波変換装置116a、116bの駆動電流が規制値を超えても、BPF132a、132bの出力が大きくなる方向に制御し続けると、いつかは補償不能に陥るが、本実施例では、このような弊害を完全に解消できる。

【0055】本実施例では、光スイッチ124は、ニオブ酸リチウム導波路からなる方向性結合器の中間に1/2波長板を入れて無偏波化した光スイッチからなる。2つの経路を通ってきた伝送信号光の間のコヒーレントクロストークを低減させるためには、光スイッチ124には極めて高い消光比が要求されるからである。

【0056】但し、偏光ビームスプリッタ120aと光スイッチ124の間、及び偏光ビームスプリッタ120bと光スイッチ124の間を偏波保持系で構成し、光スイッチ124に入射する光の偏波方向を互いに直交させておけば、コヒーレントクロストークが生じない。この場合には、光スイッチ124は、消光比が低いニオブ酸リチウム導波路の光スイッチでもよい。

【0057】このように、図4に示す実施例は、ポアンカレ球上を何周も回るような偏波モード分散が生じる光伝送系にも適用できる。

【0058】BPF26の場合と同様に、BPF132a、132bは、直流より高い周波数から、クロック成分の周波数を越すクロック成分近傍の周波数までの中のデータ成分を抽出するようにしても良い。但し、雑音が多くなり、不安定になりやすい。

【0059】図5は、本発明の第3実施例の概略構成ブロック図を示す。図1及び図4に示す実施例では、偏光ビームスプリッタ16、120a、120bで所定方向（主軸）の偏波成分のみを抽出するので、主軸の偏波成分が小さくなり、主軸と直交する偏波成分が大きくなるような偏波変動が光伝送路で生じた場合には、一時的に、偏波モード分散を補償できなくなりがねない。図5

に示す実施例は、このような事態にも対応できる。

【0060】図5に示す実施例の構成と動作を説明する。光伝送路からの信号光は、入力ポート210から光ファイバ212に輸入し、光ファイバ212を伝搬して偏波変換装置214に輸入する。偏波変換装置214は偏波変換装置12と全く同じ構成からなり、任意の偏波の入力光を所望の角度の直線偏波に変換する。偏波変換装置214により直線偏波に変換された信号光は、光ファイバ216を伝搬して偏光ビームスプリッタ218に輸入する。偏光ビームスプリッタ218は、光ファイバ216からの光を2つの直交する偏波成分（例えば、TEとTM）に分波し、一方（例えば、TE成分）を光ファイバ220に、他方（例えば、TM成分）を光ファイバ222に出力する。

【0061】光ファイバ220を伝搬する光のほとんどは、光スイッチ224を介して信号受信用の受光素子226に入射するが、その残りは、光カップラ228により分波されて受光素子230に入射する。BPF232は、BPF26と同様に、受光素子230の出力から信号のクロック成分を抽出する。

【0062】同様に、光ファイバ222を伝搬する光のほとんどは、光スイッチ224を介して信号受信用の受光素子226に入射するが、その残りは、光カップラ234により分波されて受光素子236に入射する。BPF238は、BPF232と同様に、受光素子236の出力から信号のクロック成分を抽出する。

【0063】比較回路240は、BPF232、238の出力を比較し、その比較結果により、後述するように、BPF232の出力による偏波制御とBPF238の出力による偏波制御とを切り替える。BPF232、238の出力はまた、それぞれスイッチ242の選択接点242a、242bに印加される。スイッチ242の共通接点242cは制御回路244の入力に接続する。スイッチ242は、比較回路240の比較結果に従い、BPF232又は同238の出力を選択して制御回路244に印加する。

【0064】制御回路244は、スイッチ242の共通接点242cからの信号に従い、その信号レベルが最大になるような、偏波変換装置214に対する駆動電流を生成し、偏波変換装置214に印加する。制御回路244はまた、比較回路240によるスイッチ242の切り替えに従い、BPF232又は同238の出力を最大にする制御動作をリセットする。スイッチ242の切り替えにより制御回路244の制御動作の連続性が断たれるからである。スイッチ242の切り替えによっても偏波変換装置214に対する駆動電流値を継続的に制御できる場合には、このような制御動作のリセットは不要である。

【0065】一般的には、比較回路240は、BPF232、238の出力を比較し、その大小に応じて、スイ

ッチ 242 光スイッチ 224 を切り替える。すなわち、BPF 232 の出力が BPF 238 の出力より大きいときには、比較回路 240 は、スイッチ 242 に BPF 232 の出力を選択させ、逆に、BPF 238 の出力が BPF 232 の出力より大きいときには、スイッチ 242 に BPF 238 の出力を選択させる。

【0066】BPF 232 の出力による偏波制御と、BPF 238 の出力による偏波制御との切り替えにはヒステリシス特性を持たせてもよい、そうすれば、スイッチ 242 が頻繁に切り替わるのを防止できる。例えば、BPF 232 の出力が BPF 238 の出力より小さい状態から BPF 238 の出力より大きくなる方向に相対的に変化する場合には、比較回路 240 は、BPF 232 の出力が BPF 238 の出力より所定値以上、大きくなったときに、スイッチ 242 に BPF 232 の出力を選択させる。BPF 232、238 の出力の変化が逆の関係にある場合、比較回路 240 は、BPF 238 の出力が BPF 232 の出力より所定値以上、大きくなったときに、スイッチ 242 に BPF 238 の出力を選択させる。

【0067】比較回路 240 はまた、スイッチ 242 の切り替えに同期して、光スイッチ 224 を切り替える。すなわち、比較回路 240 は、スイッチ 242 に BPF 232 の出力を選択させるときには、光スイッチ 224 に光ファイバ 220 からの入力光を選択させ、逆に、スイッチ 242 に BPF 238 の出力を選択させるときには、光スイッチ 224 に光ファイバ 222 からの入力光を選択させる。

【0068】光スイッチ 224 は、ニオブ酸リチウム導波路の方向性結合器の中間に 1/2 波長板を挿入することで無偏光化した光スイッチからなる。しかし、先の実施例と同様に、光ファイバ 220、222 を偏波保持ファイバとし、光スイッチ 224 に入射する 2 つの光を互いに直交させておけば、コヒーレントクロストークが生じない。この場合には、光スイッチ 224 は、消光比の低いニオブ酸リチウム導波路の光スイッチでもよい。

【0069】図 5 に示す実施例では、光伝送路の状態が変化して、主軸としていた方向の信号が小さくなり、主軸方向に直交する偏波成分が大きくなるような事態が生じて、新たな主軸方向成分に追従して、偏波モード分散補償を継続できる。すなわち、主軸が交代しても、支

障なく偏波モード分散の補償を継続できる。

【0070】図 5 に示す実施例でも、BPF 232、238 は、直流より高い周波数から、クロック成分の周波数を越すクロック成分近傍の周波数までの中のデータ成分を抽出するようにしても良い。但し、雑音が多くなり、不安定になりやすい。例えば、BPF 232、238 の通過中心周波数を 5 GHz としてもよい。

【0071】図 6 は、図 4 に示す実施例と図 5 に示す実施例を合体した実施例の概略構成ブロック図を示す。本

実施例は、図 4 に示す実施例と同様に、基本的に同じ構成からなる 2 つの偏波モード分散補償系 A、B を具備し、各補償系 A、B は、図 5 に示す実施例と同様に、主軸方向の成分及び主軸方向に直交する方向の成分の両方をレベルを調べ、レベルの大きい方の成分で偏波モード分散を補償する。このように構成することで、伝送信号の偏波がポアンカレ球上を何周も回るように光伝送系、及び、主軸が交代するような光伝送系のどちらにもそのまま適用でき、偏波モード分散を支障なく補償できる。

【0072】図 6 に示す実施例の構成と動作を説明する。光伝送路からの信号光は、入力ポート 310 から 3 dB 光カップラ 312 に入力し、ここで 2 系統 A、B に分割される。3 dB 光カップラ 312 で分割された 2 つの信号光は、それぞれ、光ファイバ 314a、314b を伝送して偏波変換装置 316a、316b に入射する。偏波変換装置 316a、316b は偏波変換装置 12、116a、116b と全く同じ構成からなり、入射光の偏波を所望の角度の直線偏波に変換する。

【0073】偏波変換装置 316a により直線偏波に変換された信号光は、光ファイバ 318a を伝搬して偏光ビームスプリッタ 320a に入力する。偏光ビームスプリッタ 320a は、光ファイバ 318a からの光を 2 つの直交する偏波成分（例えば、TE と TM）に分波し、一方（例えば、TE 成分）を光ファイバ 322a に、他方（例えば、TM 成分）を光ファイバ 324a に出力する。

【0074】光ファイバ 322a を伝搬する光のほとんどは、光スイッチ 326a を介して光スイッチ 328 の一方のポートに入射するが、その残りは、光カップラ 330a により分波されて受光素子 332a に入射する。BPF 334a は、BPF 26、132a と同様に、受光素子 332a の出力から信号のクロック成分を抽出する。

【0075】同様に、光ファイバ 324a を伝搬する光のほとんどは、光スイッチ 326a を介して光スイッチ 328 の他方のポートに入射するが、その残りは、光カップラ 336a により分波されて受光素子 338a に入射する。BPF 340a は、BPF 232、238 と同様に、受光素子 338a の出力から信号のクロック成分を抽出する。

【0076】制御回路 342a は、図 5 に示す実施例の比較回路 240、スイッチ 242 及び制御回路 244 の機能を具備する。制御回路 342a は更に、制御回路 134a、134b と同様に、追従優先モード又は規制優先モードで動作でき、また、偏波変換装置 316a に対する駆動電流が規制値を超えたかどうかを示す情報をスイッチ制御回路 344 に供給する。

【0077】以上、A 系統の構成と動作を説明したが、符号に付加された 'a' を 'b' と読み替えることで、

B系統の構成及び動作の説明とすることができる。従って、B系統の構成と動作の詳細な説明を省略する。

【0078】スイッチ制御回路344は、追従優先モード及び規制優先モードのどちらで動作すべきかを制御回路342a、342bに指示する。スイッチ制御回路344は、制御回路342a、342b及び光スイッチ328に対して、スイッチ制御回路136と同様に動作する。即ち、A系統の偏波モード分散補償結果を光スイッチ328で選択する場合には、光スイッチ328に光スイッチ326aからの信号光を選択させ、制御回路342aを追従優先モードで動作させ、制御回路342bを規制優先モードで動作させる。A系統で偏波変換装置316aに対する駆動電流がポアンカレ球上で1周以上してしまったときには、スイッチ制御回路344は、光スイッチ328に光スイッチ326bからの信号光を選択させ、制御回路342aを初期化した上で規制優先モードで動作させ、制御回路342bを追従優先モードで動作させる。

【0079】光スイッチ328で選択された信号光は受信処理用の受光素子346に入射する。受光素子346は入力光の強度変化に応じて振幅が変化する電気信号を出力する。受光素子346の出力は、受信処理系へ供給される。

【0080】光スイッチ326a、326b、328は、ニオブ酸リチウム導波路の方向性結合器の中間に1/2波長板を挿入することで無偏光化した光スイッチからなる。しかし、先の実施例と同様に、光ファイバ322a、322b、324a、324bを偏波保持ファイバとし、光スイッチ326a、326bに入射する2つの光を互いに直交させておけば、コヒーレントクロストークが生じない。この場合には、光スイッチ326a、326bは、消光比の低いニオブ酸リチウム導波路の光スイッチでもよい。

【0081】このように、図6に示す実施例は、図4に示す実施例の利点と図5に示す実施例の利点を併せ持つ。すなわち、図6に示す実施例は、ポアンカレ球上を何周も偏波が回るような光伝送系でも適用でき、且つ、主軸が交代しても偏波モード分散を補償し続けることができる。

【0082】光スイッチ124、224、326a、326b、328としてニオブ酸リチウム導波路を用いたが、2台の電気吸収型光変調器と3dBカップラを組み合わせた光スイッチでもよい。

【0083】図4及び図6に示す実施例では、2系統の偏波モード分散補償結果を光スイッチで選択したが、2系統の各偏波モード分散補償結果を別々の受光素子に入力して電気信号に変換し、その受光素子の出力を電気スイッチで選択するようにしてもよいことは明らかである。

【0084】図6に示す実施例でも、先の各実施例と同

様に、BPF334a、334b、340a、340bは、直流より高い周波数から、クロック成分の周波数を越すクロック成分近傍の周波数までの中のデータ成分を抽出するようにしても良い。但し、雑音が多くなり、不安定になりやすい。例えば、BPF334a、334b、340a、340bの通過中心周波数を5GHzとしてもよい。

【0085】図4、図5及び図6に示す実施例では、光スイッチ124、224、328で信号光を選択した後10に受光素子126、226、346により電気信号に変換しているが、先に、受光素子で個別に電気信号に変換してから電気スイッチでそれら受光素子の出力を選択するようにしてもよい。図7は、図4に示す実施例をそのように変更した実施例の概略構成ブロック図を示す。図4と同じ構成要素には同じ符号を付してある。

【0086】受光素子140a、140bはそれぞれ、光ファイバ122a、122bからの信号光を電気信号に変換し、得られた電気信号を電気スイッチ142の別々の選択接点に供給する。電気スイッチ142は、スイッチ制御回路136からの切り替え制御信号に従い、受光素子140a又は同140bの出力を選択して、後段の受信処理回路に供給する。

【0087】図1に示す実施例に関連して言及したように、図7に示す構成では、受光素子140a、140bの出力をBPF132a、132bにも供給するようにすることで、分波器122a、122b及び受光素子128a、128bを省略できる。図5及び図6に示す実施例に対しては、一方の偏波成分に対する分波器及び受光素子を省略できることになる。

【0088】図7に示す実施例では、高速の光スイッチ124、224、328を必要としないという利点がある。

【0089】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、ファラデー回転子を使った偏波変換器を使うことにより、速い偏波の変化に追従して、偏波モード分散を補償できる。機械式可動部品を使用しないことにより、長期にわたって使用でき、高い信頼性を確保できる。更には、偏波モード分散補償量を入射光の偏波モード分散量に応じて変化させることができるので、光伝送路の伝送状態の変化に応じて適応的に偏波モード分散を補償できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施例の概略構成ブロック図である。

【図2】 偏波変換装置12の斜視図である。

【図3】 ポアンカレ球上での、偏波変換装置12による偏波変換の様子を示す模式図である。

【図4】 本発明の第2実施例の概略構成ブロック図である。

【図 5】 本発明の第 3 実施例の概略構成ブロック図である。

【図 6】 本発明の第 4 実施例の概略構成ブロック図である。

【図 7】 本発明の第 5 実施例の概略構成ブロック図である。

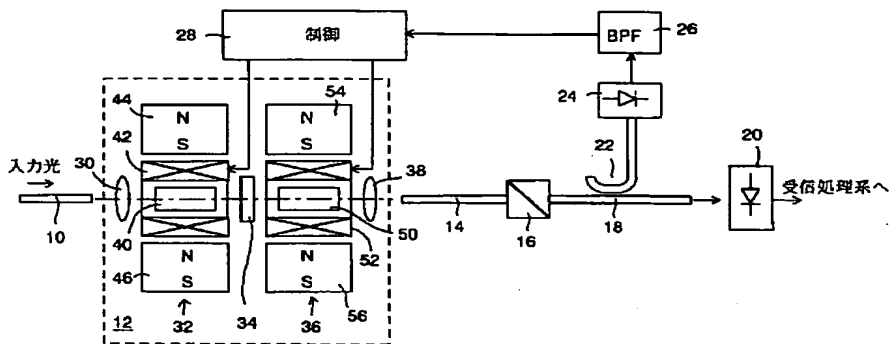
【図 8】 偏波モード分散の模式図である

【符号の説明】

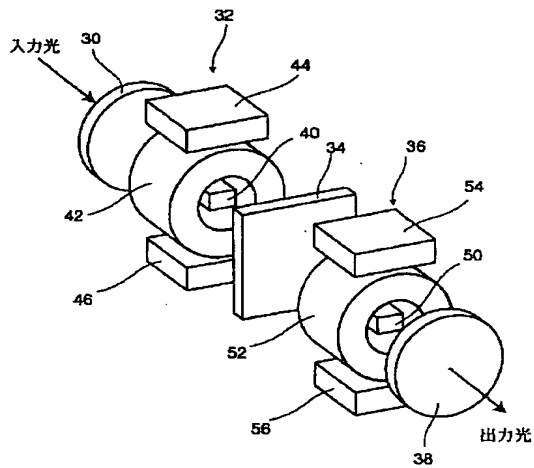
10 : 光ファイバ
 12 : 偏波変換装置
 14 : 光ファイバ
 16 : 偏光ビームスプリッタ
 18 : 光ファイバ
 20 : 信号受信用受光素子
 22 : 光カップラ
 24 : 受光素子
 26 : バンドパスフィルタ (BPF)
 28 : 制御回路
 30 : コリメータレンズ
 32 : 第 1 の偏波変換器
 34 : 1/4 波長板
 36 : 第 2 の偏波変換器
 38 : 集光レンズ
 40 : ファラデー回転子
 42 : コイル
 44, 46 : 磁石
 50 : ファラデー回転子
 52 : コイル
 54, 56 : 磁石
 54, 56 からなる。
 60 : 北極
 62 : 南極
 63 : 垂直偏波
 64 : 子午線
 65 : 水平偏波
 66 : 赤道
 68 : 入射光の偏波位置
 70 : 第 1 の偏波変換器 32 による偏波変換後の偏波位置
 72 : 1/4 波長板 34 の出射光の偏波位置
 74 : 第 2 の偏波変換器 36 による偏波変換後の偏波位置
 110 : 入力ポート
 112 : 3dB 光カップラ
 114a, 114b : 光ファイバ
 116a, 116b : 偏波変換装置
 118a, 118b : 光ファイバ

120a, 120b : 偏光ビームスプリッタ
 122a, 122b : 光ファイバ
 124 : 光スイッチ
 126 : 信号受信用受光素子
 128a, 128b : 光カップラ
 130a, 130b : 受光素子
 132a, 132b : BPF
 134a, 134b : 制御回路
 136 : スイッチ制御回路
 140a, 140b : 受光素子
 142 : 電気スイッチ
 210 : 入力ポート
 212 : 光ファイバ
 214 : 偏波変換装置
 216 : 光ファイバ
 218 : 偏光ビームスプリッタ
 220 : 光ファイバ
 222 : 光ファイバ
 224 : 光スイッチ
 226 : 信号受信用受光素子
 228 : 光カップラ
 230 : 受光素子
 232 : BPF
 234 : 光カップラ
 236 : 受光素子
 238 : BPF
 240 : 比較回路
 242 : スイッチ
 244 : 制御回路
 310 : 入力ポート
 312 : 3dB 光カップラ
 314a, 314b : 光ファイバ
 316a, 316b : 偏波変換装置
 318a, 318b : 光ファイバ
 320a, 320b : 偏光ビームスプリッタ
 322a, 322b : 光ファイバ
 324a, 324b : 光ファイバ
 326a, 326b : 光スイッチ
 328 : 光スイッチ
 330a, 330b : 光カップラ
 332a, 332b : 受光素子
 334a, 334b : BPF
 336a, 336b : 光カップラ
 338a, 338b : 受光素子
 340a, 340b : BPF
 342a, 342b : 制御回路
 344 : スイッチ制御回路

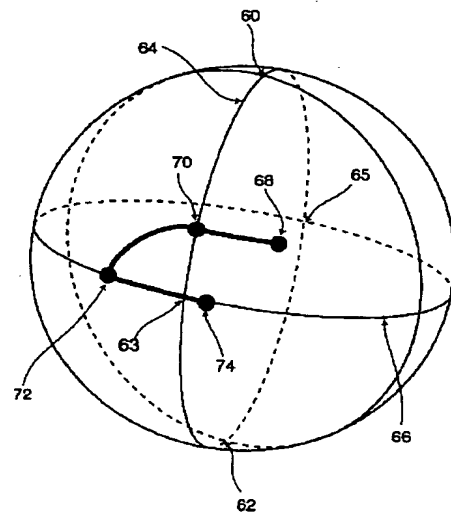
【図1】



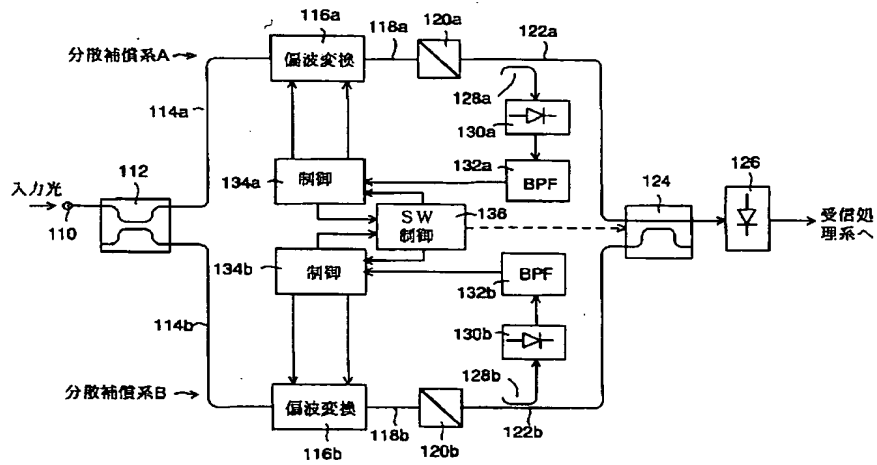
【図2】



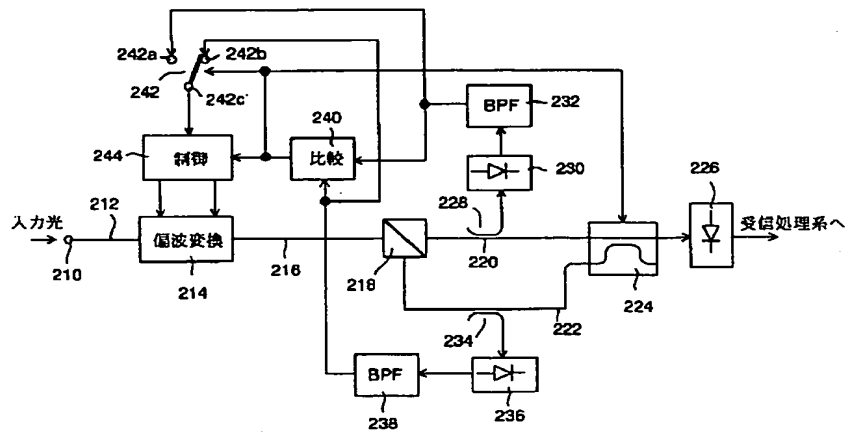
【図3】



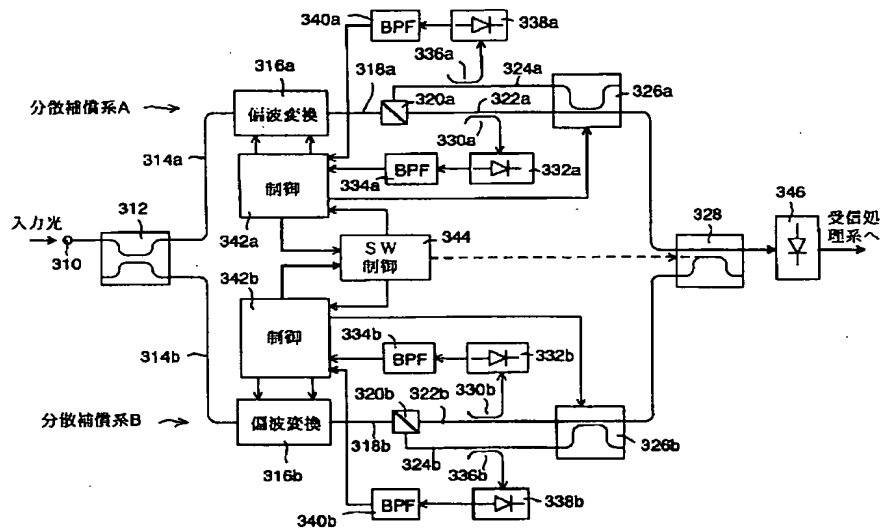
【図4】



【図 5】



【図 6】



【図 8】

